

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

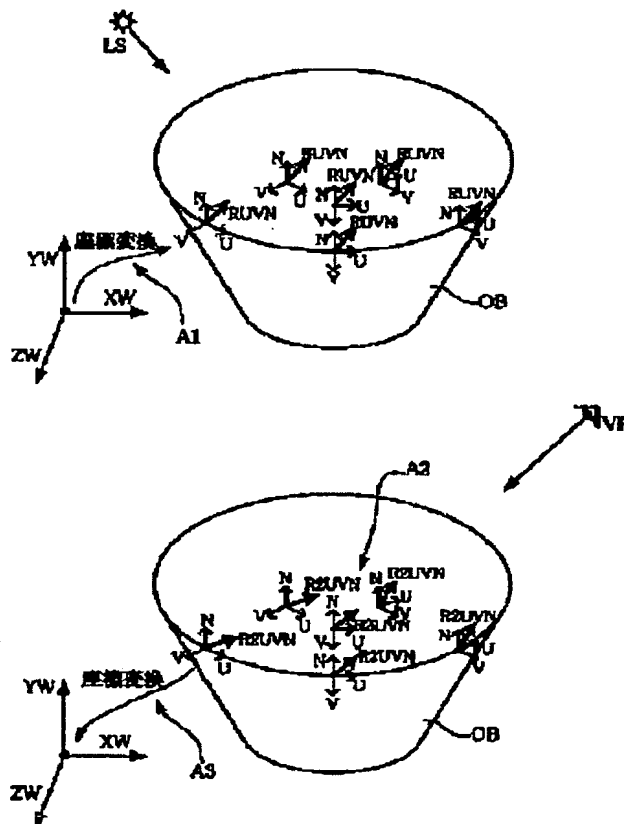
# GAME SYSTEM AND INFORMATION STORAGE MEDIUM

**Patent number:** JP2002032790  
**Publication date:** 2002-01-31  
**Inventor:** SAITO NAOHIRO  
**Applicant:** NAMCO LTD  
**Classification:**  
 - international: G06T17/40; A63F13/00; G06T15/50  
 - european:  
**Application number:** JP20000219030 20000719  
**Priority number(s):**

## Abstract of JP2002032790

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a game system capable of realizing the representation of anisotropic reflection with a small quantity of processing burden, and to provide an information storage medium.

**SOLUTION:** A reflection vector at each configuration point of an object is calculated on the basis of light source information and normal information, the direction of the reflection vector is changed into the direction of anisotropic reflection to obtain a 2nd reflection vector, and the shading processing of the object is performed on the basis of the 2nd reflection vector and line of sight information. The reflection vector  $R$  is subjected to coordinate transformation to a UVN coordinate system to calculate an RUVN, the direction of the RUVN is changed in the UVN coordinate system to obtain a 2nd reflection vector RUVN2, and the RUVN2 is returned to a world coordinate system to perform shading operation. The U and V axial components of the RUVN are scaled to change the directions of the RUVN. When the object is represented on a free-form surface, the U and V axes are set in the direction of a tangent vector at each configuration point on the free-form surface. Specular representation



texture is mapped onto the object on  
the basis of texture coordinates  
calculated from the RUVN2.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	キーワード (参考)
G 0 6 T 17/40		G 0 6 T 17/40	E 2 C 0 0 1
A 6 3 F 13/00		A 6 3 F 13/00	B 5 B 0 5 0
G 0 6 T 15/50	2 2 0	G 0 6 T 15/50	2 2 0 5 B 0 8 0

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2000-219030 (P2000-219030)

(22) 出願日 平成12年7月19日 (2000.7.19)

(71) 出願人 000134855

株式会社ナムコ

東京都大田区多摩川2丁目8番5号

(72) 発明者 斎藤 直宏

東京都大田区多摩川2丁目8番5号 株式  
会社ナムコ内

(74) 代理人 100090387

弁理士 布施 行夫 (外2名)

Fターム (参考) 2C001 CB01 CB02 CB03 CC02 CC03

5B050 AA00 BA08 CA05 EA30 FA02

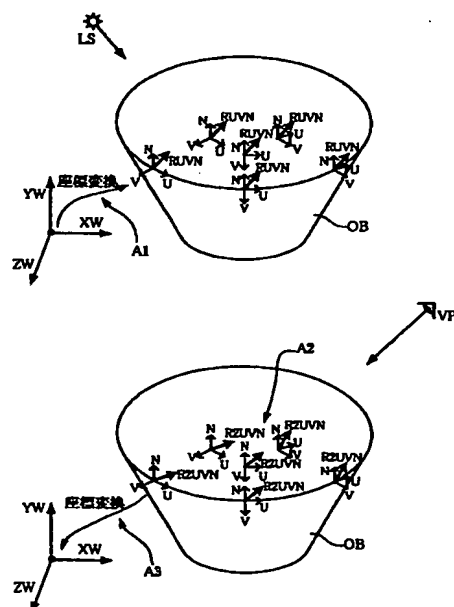
5B080 AA10 CA05 GA15

(54) 【発明の名称】 ゲームシステム及び情報記憶媒体

(57) 【要約】

【課題】 異方性反射の表現を少ない処理負担で実現できるゲームシステム及び情報記憶媒体を提供することが目的である。

【解決手段】 光源情報と法線情報に基づきオブジェクトの各構成点での反射ベクトルを求め、反射ベクトルの方向を異方性反射の方向に変化させて第2の反射ベクトルを求め、第2の反射ベクトルと視線情報に基づきオブジェクトのシェーディング演算を行う。反射ベクトルRをUVN座標系に座標変換してRUVNを求め、UVN座標系においてRUVNの方向を変化させて第2の反射ベクトルRUVN2を求め、RUVN2をワールド座標系に戻してシェーディング演算を行う。RUVNのU、V軸成分をスケールリングしてRUVNの方向を変化させる。オブジェクトが自由曲面で表される場合、自由曲面の各構成点での接線ベクトルの方向にU、V軸を設定する。RUVN2から求められたテクスチャ座標に基づきスペキュラー表現テクスチャをオブジェクトにマッピングする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 画像生成を行うゲームシステムであって、  
光源情報と法線情報とに基づいてオブジェクトの各構成点での反射ベクトルを求める手段と、  
前記反射ベクトルの方向を異方性反射の方向に変化させて、第2の反射ベクトルを求める手段と、  
前記第2の反射ベクトルと視点情報とに基づいてオブジェクトのシェーディング演算を行う手段と、  
を含むことを特徴とするゲームシステム。

【請求項2】 請求項1において、  
前記反射ベクトルを、異方性反射の方向を定義する第2の座標系に座標変換し、前記第2の座標系において前記反射ベクトルの方向を変化させて前記第2の反射ベクトルを求め、前記第2の座標系での前記第2の反射ベクトルを前記第1の座標系に座標変換し、前記第1の座標系での前記第2の反射ベクトルに基づいてオブジェクトのシェーディング演算を行うことを特徴とするゲームシステム。

【請求項3】 請求項2において、  
前記第2の座標系が、異方性反射の方向を表す第1の軸と該第1の軸に交差する第2の軸を有する場合において、  
前記第2の座標系での前記反射ベクトルの方向を前記第1、第2の軸のいずれかの方向に変化させて、前記第2の反射ベクトルを求めることを特徴とするゲームシステム。

【請求項4】 請求項2又は3において、  
前記第2の座標系が、異方性反射の方向を表す第1の軸と該第1の軸に交差する第2の軸を有する場合において、  
前記第2の座標系での前記反射ベクトルの前記第1の軸の成分を第1の係数でスケールすると共に、前記第2の座標系での前記反射ベクトルの前記第2の軸の成分を第2の係数でスケールすることで、前記第2の反射ベクトルを求めることを特徴とするゲームシステム。

【請求項5】 請求項2乃至4のいずれかにおいて、  
前記第2の座標系が、異方性反射の方向を表す第1の軸と該第1の軸に交差する第2の軸を有し、オブジェクトが自由曲面により表される場合において、  
自由曲面の各構成点での第1、第2の接線ベクトルの方向に、前記第1、第2の軸が設定されることを特徴とするゲームシステム。

【請求項6】 請求項5において、  
前記第1、第2の接線ベクトルに基づき前記法線情報となる法線ベクトルが求められ、該法線ベクトルの方向に、前記第2の座標系の第3の軸が設定されることを特徴とするゲームシステム。

【請求項7】 請求項1乃至6のいずれかにおいて、  
スペキュラー表現テクスチャのテクスチャ座標を前記第

2の反射ベクトルに基づいて求め、求められたテクスチャ座標に基づいて前記スペキュラー表現テクスチャをオブジェクトにマッピングすることを特徴とするゲームシステム。

【請求項8】 請求項7において、  
前記第2の反射ベクトルの方向が視線ベクトルの方向に一致した場合に前記スペキュラー表現テクスチャに描かれたハイライト画像の中心が参照される変換を前記第2の反射ベクトルに対して施し、前記テクスチャ座標を求めることを特徴とするゲームシステム。

【請求項9】 コンピュータが使用可能な情報記憶媒体であって、  
光源情報と法線情報とに基づいてオブジェクトの各構成点での反射ベクトルを求める手段と、  
前記反射ベクトルの方向を異方性反射の方向に変化させて、第2の反射ベクトルを求める手段と、  
前記第2の反射ベクトルと視点情報とに基づいてオブジェクトのシェーディング演算を行う手段と、  
を実行するためのプログラムを含むことを特徴とする情報記憶媒体。

【請求項10】 請求項9において、  
前記反射ベクトルを、異方性反射の方向を定義する第2の座標系に座標変換し、前記第2の座標系において前記反射ベクトルの方向を変化させて前記第2の反射ベクトルを求め、前記第2の座標系での前記第2の反射ベクトルを前記第1の座標系に座標変換し、前記第1の座標系での前記第2の反射ベクトルに基づいてオブジェクトのシェーディング演算を行うことを特徴とする情報記憶媒体。

【請求項11】 請求項10において、  
前記第2の座標系が、異方性反射の方向を表す第1の軸と該第1の軸に交差する第2の軸を有する場合において、  
前記第2の座標系での前記反射ベクトルの方向を前記第1、第2の軸のいずれかの方向に変化させて、前記第2の反射ベクトルを求めることを特徴とする情報記憶媒体。

【請求項12】 請求項10又は11において、  
前記第2の座標系が、異方性反射の方向を表す第1の軸と該第1の軸に交差する第2の軸を有する場合において、  
前記第2の座標系での前記反射ベクトルの前記第1の軸の成分を第1の係数でスケールすると共に、前記第2の座標系での前記反射ベクトルの前記第2の軸の成分を第2の係数でスケールすることで、前記第2の反射ベクトルを求めることを特徴とする情報記憶媒体。

【請求項13】 請求項10乃至12のいずれかにおいて、  
前記第2の座標系が、異方性反射の方向を表す第1の軸と該第1の軸に交差する第2の軸を有し、オブジェクト

が自由曲面により表される場合において、自由曲面の各構成点での第1、第2の接線ベクトルの方向に、前記第1、第2の軸が設定されること特徴とする情報記憶媒体。

【請求項14】 請求項13において、前記第1、第2の接線ベクトルに基づき前記法線情報となる法線ベクトルが求められ、該法線ベクトルの方向に、前記第2の座標系の第3の軸が設定されることを特徴とする情報記憶媒体。

【請求項15】 請求項9乃至14のいずれかにおいて、スベキュラー表現テクスチャのテクスチャ座標を前記第2の反射ベクトルに基づいて求め、求められたテクスチャ座標に基づいて前記スベキュラー表現テクスチャをオブジェクトにマッピングすることを特徴とする情報記憶媒体。

【請求項16】 請求項15において、前記第2の反射ベクトルの方向が視線ベクトルの方向に一致した場合に前記スベキュラー表現テクスチャに描かれたハイライト画像の中心が参照される変換を前記第2の反射ベクトルに対して施し、前記テクスチャ座標を求めることを特徴とする情報記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ゲームシステム及び情報記憶媒体に関する。

【0002】

【背景技術及び発明が解決しようとする課題】従来より、仮想的な3次元空間であるオブジェクト空間内の所与の視点から見える画像を生成するゲームシステムが知られており、いわゆる仮想現実を体験できるものとして人気が高い。レーシングゲームを楽しむことができるゲームシステムを例にとれば、プレーヤは、車（オブジェクト）を操作してオブジェクト空間内で走行させ、他のプレーヤやコンピュータが操作する車と競争することで3次元ゲームを楽しむ。

【0003】さて、このようなゲームシステムでは、プレーヤの仮想現実感の向上のために、よりリアルで高品質な画像を生成することが重要な技術的課題になっている。このため、オブジェクトの表面での鏡面反射（スベキュラー）についても、よりリアルに表現できることが望ましい。

【0004】このような鏡面反射を実現する手法とし、従来より、フォン（Phong）、ブリン（Blinn）などのモデルが知られている。しかしながら、これらのモデルはいずれも等方性反射のモデルであり、反射光の強度分布は等方的なものになっている。

【0005】一方、オブジェクトの表面上に一定方向の傷がある場合には、反射光がその傷に影響され、特定の方向に強く反射される現象が生じる。例えば、同心円状

の傷がついてるオーディオ機器のつまみに特有の明暗パターンが見えたり、人間の髪の毛に「天使の輪」が見えたりする現象である。

【0006】このような特有の明暗パターンを表現するには、いわゆる異方性反射のモデルが必要になる。そして、このような異方性反射モデルの従来例については、例えば「異方性反射モデルに関する検討」、高木・横井等、グラフィックスとCAD、11-1,1983.10.17」に開示されている。

【0007】例えばオブジェクト表面に図1（A）に示すような傷があるとする。図1（A）の点Pの部分の局所的に見ると、図1（B）に示すようになる。ここで、面に垂直な法線ベクトルをNとし、傷に水平なベクトルをUとし、傷に垂直なベクトルをVとする。また光源L Sからの光源ベクトルLの点Pでの反射ベクトルをRとする。この時、反射ベクトルRは下式（1）のようになる。

$$【0008】 R = 2(N \cdot L)N - L \quad (1)$$

一般的な反射モデルでは、上式（1）で求められた反射ベクトルRと視線ベクトルとのなす角度に基づき鏡面反射光（スベキュラー成分）の強度（輝度）が決定される。

【0009】そして、鏡面反射光自体を扁平な楕円体の強度分布でモデル化したのが図2（A）に示す大平のモデルである。即ち視線ベクトルEが楕円体E L Pと交わる点までの長さDEに基づいて鏡面反射光の強度を求める。

【0010】一方、図2（B）に示す高木・横井のモデルでは、ブリンの微少平面モデルに異方性を持たせ、微少平面の分布を楕円体モデルで解いている。

【0011】しかしながら、このような大平や高木・横井のモデルでは、楕円体モデルを用いるため、鏡面反射光の強度の計算に多大な処理時間を要する。従って、リアルタイム処理が強く要求されるゲームシステムには不向きなモデルである。

【0012】また、大平や高木・横井のモデルでは、スカラー量である鏡面反射光の強度が計算結果として出力される。従って、スベキュラー形状（ハイライト形状）がポリゴン形状の影響を受けて不自然な形になるという問題を、いわゆるスベキュラーマッピングの手法を利用して解決できない。

【0013】この場合、ノンリアルタイム処理のCG（Computer Graphics）のようにピクセル単位で鏡面反射光の強度を計算すれば、上記問題を解決できるが、これは処理時間の更なる増加という問題を招く。

【0014】本発明は、以上のような課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、異方性反射の表現を少ない処理負担で実現できるゲームシステム及び情報記憶媒体を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、画像生成を行うゲームシステムであって、光源情報と法線情報とに基づいてオブジェクトの各構成点での反射ベクトルを求める手段と、前記反射ベクトルの方向を異方性反射の方向に変化させて、第2の反射ベクトルを求める手段と、前記第2の反射ベクトルと視点情報とに基づいてオブジェクトのシェーディング演算を行う手段とを含むことを特徴とする。また本発明に係る情報記憶媒体は、コンピュータにより使用可能な情報記憶媒体であって、上記手段を実行するためのプログラムを含むことを特徴とする。また本発明に係るプログラムは、コンピュータにより使用可能なプログラム（搬送波に具現化されるプログラムを含む）であって、上記手段を実行するための処理ルーチンを含むことを特徴とする。

【0016】本発明によれば、光源情報（例えば光源ベクトル、光源位置）と法線情報（例えば法線ベクトル、面の方向を表す情報）に基づいて、オブジェクトの各構成点（例えば頂点、プリミティブ点）での反射ベクトルが求められる。そして、この反射ベクトルを、異方性反射の方向（例えば、オブジェクトに傷等があると想定している場合には、その傷に垂直な方向）に変化させることで、第2の反射ベクトルが求められる。そして、この第2の反射ベクトルを用いて、オブジェクトのシェーディング演算が行われる。

【0017】このようにすることで本発明によれば、楕円体モデルを用いる従来の手法に比べて、非常に負荷の少ない演算処理で異方性反射を表現できる。従って、リアルタイム処理が要求されるゲームシステムに最適な異方性反射モデルを構築できる。

【0018】また本発明に係るゲームシステム、情報記憶媒体及びプログラムは、前記反射ベクトルを、異方性反射の方向を定義する第2の座標系に座標変換し、前記第2の座標系において前記反射ベクトルの方向を変化させて前記第2の反射ベクトルを求め、前記第2の座標系での前記第2の反射ベクトルを前記第1の座標系に座標変換し、前記第1の座標系での前記第2の反射ベクトルに基づいてオブジェクトのシェーディング演算を行うことを特徴とする。

【0019】このようにすれば、例えば各構成点に設定された第2の座標系において、統一的な処理で反射ベクトルの方向を変化させることができるようになり、処理の簡素化を図れる。

【0020】また本発明に係るゲームシステム、情報記憶媒体及びプログラムは、前記第2の座標系が、異方性反射の方向を表す第1の軸と該第1の軸に交差する第2の軸を有する場合において、前記第2の座標系での前記反射ベクトルの方向を前記第1、第2の軸のいずれかの方向に変化させて、前記第2の反射ベクトルを求めることを特徴とする。

【0021】このようにすれば、例えば各構成点に設定された第2の座標系において、反射ベクトルの方向を第1、第2の軸のいずれかの方向に変化させるという簡素な処理で、異方性反射を表現できる。

【0022】なお、オブジェクトの表面に想定される傷の方向は、第1、第2の軸のいずれの方向であってもよい。

【0023】また本発明に係るゲームシステム、情報記憶媒体及びプログラムは、前記第2の座標系が、異方性反射の方向を表す第1の軸と該第1の軸に交差する第2の軸を有する場合において、前記第2の座標系での前記反射ベクトルの前記第1の軸の成分を第1の係数でスケールリングすると共に、前記第2の座標系での前記反射ベクトルの前記第2の軸の成分を第2の係数でスケールリングすることで、前記第2の反射ベクトルを求めることを特徴とする。

【0024】このようにすれば、反射ベクトルの第1、第2の軸の成分を第1、第2の係数でスケールリングするだけという簡素な処理で、第2の反射ベクトルを得ることができ、処理負荷を大幅に軽減化できる。

【0025】また本発明に係るゲームシステム、情報記憶媒体及びプログラムは、前記第2の座標系が、異方性反射の方向を表す第1の軸と該第1の軸に交差する第2の軸を有し、オブジェクトが自由曲面により表される場合において、自由曲面の各構成点での第1、第2の接線ベクトルの方向に、前記第1、第2の軸が設定されること特徴とする。

【0026】このようにすれば、自由曲面の各構成点での第1、第2の接線ベクトルを所与の計算式で求めるだけで、第2の座標系を設定できるようになり、第2の座標系の設定処理を簡素化できる。また法線ベクトルを得るために求める必要がある接線ベクトルを、第2の座標系の設定処理のために有効利用できるようになり、処理の効率化を図れる。

【0027】また本発明に係るゲームシステム、情報記憶媒体及びプログラムは、前記第1、第2の接線ベクトルに基づき前記法線情報となる法線ベクトルが求められ、該法線ベクトルの方向に、前記第2の座標系の第3の軸が設定されることを特徴とする。

【0028】このようにすれば、この法線ベクトルを法線情報として用いて反射ベクトルを求めることができるようになると共に、この法線ベクトルを得るために求めた接線ベクトルを第2の座標系の設定処理に有効利用できるようになるため、処理の効率化を図れる。

【0029】また本発明に係るゲームシステム、情報記憶媒体及びプログラムは、スペキュラー表現テクスチャのテクスチャ座標を前記第2の反射ベクトルに基づいて求め、求められたテクスチャ座標に基づいて前記スペキュラー表現テクスチャをオブジェクトにマッピングすることを特徴とする。

【0030】このようにすれば、スベキュラー形状（ハイライト形状）がプリミティブ面（ポリゴン等）の形状の影響を受けて不自然な形になるという問題を効果的に解決できるようになる。

【0031】また本発明に係るゲームシステム、情報記憶媒体及びプログラムは、前記第2の反射ベクトルの方向が視線ベクトルの方向に一致した場合に前記スベキュラー表現テクスチャに描かれたハイライト画像の中心が参照される変換を前記第2の反射ベクトルに対して施し、前記テクスチャ座標を求めることを特徴とする。

【0032】このようにすれば、スベキュラー表現テクスチャを参照するためのテクスチャ座標を簡素な処理で求めることができるようになる。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施形態について図面を用いて説明する。

【0034】1. 構成

図3に、本実施形態のゲームシステム（画像生成システム）の機能ブロック図の一例を示す。なお同図において本実施形態は、少なくとも処理部100を含めばよく（或いは処理部100と記憶部170を含めばよく）、それ以外のブロックについては任意の構成要素とすることができる。

【0035】操作部160は、プレーヤが操作データを入力するためのものであり、その機能は、レバー、ボタン、マイク、或いは筐体などのハードウェアにより実現できる。

【0036】記憶部170は、処理部100や通信部196などのワーク領域となるもので、その機能はRAMなどのハードウェアにより実現できる。

【0037】情報記憶媒体（コンピュータにより使用可能な記憶媒体）180は、プログラムやデータなどの情報を格納するものであり、その機能は、光ディスク（CD、DVD）、光磁気ディスク（MO）、磁気ディスク、ハードディスク、磁気テープ、或いはメモリ（ROM）などのハードウェアにより実現できる。処理部100は、この情報記憶媒体180に格納される情報に基づいて本発明（本実施形態）の種々の処理を行う。即ち情報記憶媒体180には、本発明（本実施形態）の手段（特に処理部100に含まれるブロック）を実行するための情報（プログラム或いはデータ）が格納される。

【0038】なお、情報記憶媒体180に格納される情報の一部又は全部は、システムへの電源投入時等に記憶部170に転送されることになる。また情報記憶媒体180には、本発明の処理を行うためのプログラム、画像データ、音データ、表示物の形状データ、本発明の処理を指示するための情報、或いはその指示に従って処理を行うための情報などを含ませることができる。

【0039】表示部190は、本実施形態により生成された画像を出力するものであり、その機能は、CRT、

LCD、或いはHMD（ヘッドマウントディスプレイ）などのハードウェアにより実現できる。

【0040】音出力部192は、本実施形態により生成された音を出力するものであり、その機能は、スピーカなどのハードウェアにより実現できる。

【0041】携帯型情報記憶装置194は、プレーヤの個人データやゲームのセーブデータなどが記憶されるものであり、この携帯型情報記憶装置194としては、メモリカードや携帯型ゲーム装置などを考えることができる。

【0042】通信部196は、外部（例えばホスト装置や他のゲームシステム）との間で通信を行うための各種の制御を行うものであり、その機能は、各種プロセッサ、或いは通信用ASICなどのハードウェアや、プログラムなどにより実現できる。

【0043】なお本発明（本実施形態）の手段を実行するためのプログラム或いはデータは、ホスト装置（サーバー）が有する情報記憶媒体からネットワーク及び通信部196を介して情報記憶媒体180に配信するようにしてもよい。このようなホスト装置（サーバー）の情報記憶媒体の使用も本発明の範囲内に含まれる。

【0044】処理部100（プロセッサ）は、操作部160からの操作データやプログラムなどに基づいて、ゲーム処理、画像生成処理、或いは音生成処理などの各種の処理を行う。この処理部100の機能は、各種プロセッサ（CPU、DSP等）又はASIC（ゲートアレイ等）などのハードウェアや、所与のプログラム（ゲームプログラム）により実現できる。

【0045】ここで、処理部100が行うゲーム処理としては、コイン（代価）の受け付け処理、各種モードの設定処理、ゲームの進行処理、選択画面の設定処理、オブジェクト（1又は複数のプリミティブ面）の位置や回転角度（X、Y又はZ軸回り回転角度）を求める処理、オブジェクトを動作させる処理（モーション処理）、視点の位置（仮想カメラの位置）や視線角度（仮想カメラの回転角度）を求める処理、マップオブジェクトなどのオブジェクトをオブジェクト空間へ配置する処理、ヒットチェック処理、ゲーム結果（成果、成績）を演算する処理、複数のプレーヤが共通のゲーム空間でプレイするための処理、或いはゲームオーバー処理などを考えることができる。

【0046】また、処理部100は、上記のゲーム処理結果に基づいて例えばオブジェクト空間内において所与の視点（仮想カメラ）から見える画像を生成し、表示部190に出力する。

【0047】更に、処理部100は、上記のゲーム処理結果に基づいて各種の音処理を行い、BGM、効果音、又は音声などの音を生成し、音出力部192に出力する。

【0048】なお、処理部100の機能は、その全てを

ハードウェアにより実現してもよいし、その全てをプログラムにより実現してもよい。或いは、ハードウェアとプログラムの両方により実現してもよい。

【0049】処理部100は、反射ベクトル演算部110、反射ベクトル変化部112、シェーディング演算部114、描画部130を含む。

【0050】ここで、反射ベクトル演算部110は、光源情報（光源位置、光源ベクトル等）と法線情報（法線ベクトル、面の方向を表す情報等）とに基づいて、オブジェクトの各構成点（頂点、プリミティブ点等）での反射ベクトルを求める。

【0051】反射ベクトル変化部112は、反射ベクトル演算部110で求められた反射ベクトルの方向を、異方性反射の方向（傷の方向により特定される方向）に変化させて、第2の反射ベクトルを求める。より具体的には、反射ベクトルを、第1の座標系（例えばワールド座標系）から、異方性反射の方向を定義する第2の座標系に座標変換する。次に、この第2の座標系において反射ベクトルの方向を変化させて第2の反射ベクトルを求める。そして、第2の座標系での第2の反射ベクトルを第1の座標系に座標変換して戻す。

【0052】シェーディング演算部114は、反射ベクトル変化部112で求められた第2の反射ベクトルと、視点情報（視点位置、視線ベクトル等）とに基づいて、オブジェクトのシェーディング演算を行う。この場合のシェーディング演算は、第2の反射ベクトルと視線ベクトルとのなす角度に基づいて鏡面反射光の強度（輝度）を求めるフォン（Phong）のモデルで実現してもよいし、物体の表面を微小平面の集合と考えるブリン（Blinn）のモデルで実現してもよい。或いは、第2の反射ベクトルに基づきテクスチャ座標を求め、このテクスチャ座標に基づきスペキュラー表現テクスチャをオブジェクトにマッピングするスペキュラーマッピングで実現してもよい。

【0053】描画部130はジオメトリ処理（座標変換、クリッピング処理、透視変換、或いは光源計算等）後のオブジェクト（1又は複数プリミティブ面）の画像を、描画領域174（フレームバッファ、ワークバッファ等のピクセル単位で画像情報を記憶できる領域）に描画する処理を行う。

【0054】なお、ジオメトリ処理後の描画データ（構成点に付与される位置座標、テクスチャ座標、色（輝度）データ、法線ベクトル或いは $\alpha$ 値等）は、主記憶部172に格納される。描画部130は、この描画データ（ポリゴンデータ）に基づいて描画処理を行う。

【0055】描画部130を含むテクスチャマッピング部132は、テクスチャ記憶部176に記憶されるテクスチャをオブジェクトにマッピングするための処理を行う。

【0056】例えばスペキュラーマッピングを行う場合

には、反射ベクトル変化部112で得られた第2の反射ベクトルに基づいてテクスチャ座標が求められ、そのテクスチャ座標がオブジェクトの各構成点（頂点）に対して付与される。そして、テクスチャマッピング部132は、各構成点に付与されたテクスチャ座標により指定されるスペキュラー表現テクスチャ（例えば、マッピングすべきハイライト画像が描かれたテクスチャ）をテクスチャ記憶部176から読み出して、オブジェクトにマッピングする。

【0057】なお、本実施形態のゲームシステムは、1人のプレーヤのみがプレイできるシングルプレーヤモード専用のシステムにしてもよいし、このようなシングルプレーヤモードのみならず、複数のプレーヤがプレイできるマルチプレーヤモードも備えるシステムにしてもよい。

【0058】また複数のプレーヤがプレイする場合に、これらの複数のプレーヤに提供するゲーム画像やゲーム音を、1つの端末を用いて生成してもよいし、ネットワーク（伝送ライン、通信回線）などで接続された複数の端末（ゲーム機、携帯電話）を用いて生成してもよい。

【0059】2. 本実施形態の特徴

2. 1 反射ベクトルの方向の変化による異方性反射の表現

異方性反射の性質を有するオブジェクトの表面には、ある特定方向に傷がついていると考えられる。この傷の存在により、オブジェクトの表面に入射された光の多くは、傷の向きに垂直な方向に反射される。従って、傷がないオブジェクトの表面での反射ベクトルの方向を、オブジェクトの表面上の傷を考慮した方向に変化させることができれば、異方性反射モデルを構築できる。

【0060】そこで本実施形態では、まず、図4（A）に示すように、光源LSからの光源ベクトルをLとし、面に垂直な法線ベクトルをNとした場合に、オブジェクトの各構成点（頂点、プリミティブ点等）での反射ベクトルRを下式（2）のように求める。即ち、光源情報（L）と法線情報（N）とに基づいて反射ベクトルRを求める。

$$【0061】R = 2(N \cdot L)N - L \quad (2)$$

なお図4（A）において、オブジェクトの表面上の傷は、U軸方向或いはV軸方向のいずれかの方向に発生していると想定されている。

【0062】そして本実施形態では、上式（2）で求められた反射ベクトルRを、図4（B）に示すように、異方性反射の方向に変化させて、反射ベクトルR2（第2の反射ベクトル）を得る。

【0063】より具体的には、傷の向きがU軸（第1、第2の軸の一方の軸）の方向であると想定されている場合には、図4（B）に示すように、反射ベクトルRの方向をV軸の方に变化させて（回転させて）、反射ベクトルR2を得る。このようにすれば、オブジェクトの各構

成点での反射ベクトルの方向を、傷に垂直なV軸の方に一律に変化させることができる。

【0064】一方、傷の向きがV軸(第1、第2の軸の他方の軸)の方向であると想定されている場合には、図4(B)とは逆に、反射ベクトルRの方向をU軸の方に变化させて(回転させて)、反射ベクトルR2を得る。このようにすれば、オブジェクトの各構成点での反射ベクトルの方向を、傷に垂直なU軸の方に一律に変化させることができる。

【0065】そして本実施形態では、このようにして得られた反射ベクトルR2を用いてシェーディング演算を行い、オブジェクトの各構成点での鏡面反射光の強度(輝度)を求める。

【0066】例えばフォンのモデルを利用する場合には、反射ベクトルR2と視線ベクトルとのなす角度を $\theta$ とした場合に、 $P_S \times \cos^n \theta$ の計算を行い、鏡面反射光の強度を求める。なお、 $P_S$ はスペキュラー係数(スペキュラー成分の最大係数)であり、 $n$ は累乗の係数である。 $n$ を変化させることでハイライトの広がり具合を制御できる。

【0067】また、ブリンのモデルを利用する場合には、反射ベクトルR2と光源ベクトルLとの中間ベクトルを求め、この中間ベクトルと視線ベクトルとに基づい\*

\*て鏡面反射光の強度を求めればよい。

【0068】以上のようにして鏡面反射光の強度を求めることで、本実施形態では、オブジェクトの表面での反射光の異方性反射の表現を、少ない処理負担で実現している。これにより、オーディオ機器のつまみの表面に見える特有の明暗パターン(ブラシ効果)や、人間の髪に見える「天使の輪」(ヘアライン効果)などの画像を、少ない処理負担で生成できるようになる。

【0069】反射ベクトルの方向を変化させる処理は、より具体的には以下のような手法により実現できる。

【0070】(I) まず図5に示すように、上式(2)の計算に基づき、オブジェクトOBの各構成点(頂点)での反射ベクトルR(第1の反射ベクトル)をワールド座標系(XW、YW、ZW)において求める。

【0071】(II) 次に、図5のA1に示すように、反射ベクトルR(RX、RY、RZ)を、ワールド座標系(第1の座標系)からUVN座標系(第2の座標系)に座標変換して、UVN座標系での反射ベクトルRUVN(RU、RN、RV)を得る。この座標変換は例えば下式(3)のようにして実現できる。

【0072】

【数1】

$$\begin{aligned} RUVN &= \begin{bmatrix} RU \\ RN \\ RV \end{bmatrix} = M_{UVN} \times R \\ &= \begin{bmatrix} UX & UY & UZ \\ NX & NY & NZ \\ VX & VY & VZ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} RX \\ RY \\ RZ \end{bmatrix} \quad \dots (3) \end{aligned}$$

ここで、UVN座標系のU軸及びV軸の一方の軸は、各構成点での傷の方向を表す軸であり、U軸及びV軸の他方の軸は上記一方の軸に直交する軸である。そして、上式(3)の(UX、UY、UZ)はU軸方向の単位ベクトルであり、(VX、VY、VZ)はV軸方向の単位ベクトルである。また、N軸は、法線ベクトルの方向に設定された軸であり、上式(3)の(NX、NY、NZ)は、N軸方向の単位ベクトルである。

【0073】なお、U軸、V軸は互いに直交していなくてもよく、互いに交差する軸であればよい。また、N軸※

※も、法線ベクトルの方向の軸でなくてもよく、U軸及びV軸に交差する軸であればよい。

【0074】(III) 次に、図5のA2に示すように、UVN座標系において反射ベクトルRUVN(RU、RN、RV)の方向を変化させて、反射ベクトルR2UVN(R2U、R2N、R2V)を求める。これは例えば下式(4)により求めることができる。

【0075】

【数2】

$$R2UVN = \begin{bmatrix} R2U \\ R2N \\ R2V \end{bmatrix} = [CU, 1, CV] \begin{bmatrix} RU \\ RN \\ RV \end{bmatrix} \quad \dots (4)$$

ここで、CUはU軸成分でのスケーリング係数であり、CVはV軸方向でのスケーリング係数である。

【0076】(IV) 次に、図5のA3に示すように、反射ベクトルR2UVN(R2U、R2N、R2V)を、

UVN座標系からワールド座標系に座標変換して、ワールド座標系での反射ベクトルR2 (R2X, R2Y, R2Z) を求める。これは例えば下式(5)により求める\*

\* ことができる。

【0077】

【数3】

$$R2 = \begin{pmatrix} R2X \\ R2Y \\ R2Z \end{pmatrix} = M_{uvw}^{-1} \times R2UVN$$

$$= \begin{pmatrix} UX & UY & UZ \\ NX & NY & NZ \\ VX & VY & VZ \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} R2U \\ R2N \\ R2V \end{pmatrix} \quad \dots (5)$$

以上のように本実施形態では、異方性反射の方向を定義するUVN座標系を設定し、このUVN座標系において反射ベクトルRUVNを変化させて反射ベクトルR2UVNを求めるようにしている。このようにすれば、上式(4)のように、反射ベクトルRUVNのU軸成分RUを係数CUでスケーリングし、V軸成分RVを係数CVでスケーリングするだけという非常に簡素な処理で、反射ベクトルRUVNを異方性反射の方向に変化させて反射ベクトルR2UVNを得ることができるようになる。

【0078】例えば、U軸方向に傷の方向を設定する場合には、図6(A)に示すように、U軸方向のスケーリング係数CUを1.0よりも小さくすればよい。例えば図6(A)では、CU=0.5、CV=2.0に設定されている。このようにすることで、反射ベクトルは、傷に垂直な方向であるV軸の方向に変化し、異方性反射を表現できるようになる。

【0079】一方、V軸方向に傷の方向を設定する場合には、図6(B)に示すように、V軸方向のスケーリング係数CVを1.0よりも小さくすればよい。例えば図6(B)では、CU=2.0、CV=0.5に設定されている。このようにすることで、反射ベクトルは、傷に垂直な方向であるU軸の方向に変化し、異方性反射を表現できるようになる。

【0080】なお、スケーリング係数により反射ベクトルの方向を変化させる手法では、反射ベクトルの方向が象限を越えては変化しないことを前提としている。

【0081】また、図6(A)、(B)では、スケーリング係数CU、CVを用いて反射ベクトルRUVNの方向を変化させているが、RUVNをN軸回りで回転させることでRUVNの方向を変化させる手法を採用してもよい。但し、この手法では、反射ベクトルを回転させる処理や、反射ベクトルの方向が象限を越えて変化しないように制御する処理が必要になるため、処理負荷が重くなるという不利点がある。

【0082】これに対して、スケーリング係数で反射ベクトルの方向を変化させる手法では、スケーリング係数を反射ベクトルの各成分に乗算するだけで済むと共に、反射ベクトルの方向が象限を越えて変化しないように制

御する処理も不要となるため、処理負荷が非常に軽いという利点がある。

【0083】図7(A)は、オブジェクトOBに対して、異方性反射の処理を行わずに通常のシェーディング処理を行った場合の生成画像例である。異方性反射の処理を行わない場合には、反射光の強度分布は等方的なものになるため、オブジェクトOBの表面には通常形状のハイライトが生じる。

【0084】図7(B)は、従来の楕円体モデルを用いて異方性反射を表現した場合の生成画像例である。図7(B)では、オブジェクトOBの上面に同心円状の傷があると想定されており、ブラシ効果が表現されたハイライト画像が生成されている。

【0085】一方、図7(C)は、本実施形態の手法により異方性反射を表現した場合の生成画像例である。図7(C)では、図6(A)、(B)で説明したスケーリング係数がCU=0.5、CV=2.0に設定されている。これにより、オブジェクトOBの上面に同心円状の傷がある場合に見えるブラシ効果のハイライト画像を生成できる。

【0086】図8(A)は、従来の楕円体モデルを用いて異方性反射を表現した場合の生成画像例である。図8(A)では、オブジェクトOBの中心から放射状に傷があると想定されており、ヘアライン効果(髪の毛の天使の輪)が表現されたハイライト画像が生成されている。

【0087】一方、図8(B)は、本実施形態の手法により異方性反射を表現した場合の生成画像例である。図8(B)では、スケーリング係数がCU=2.0、CV=0.5に設定されている。これにより、オブジェクトOBの中心から放射状に傷がある場合に見えるヘアライン効果のハイライト画像を生成できる。

【0088】図9(A)～(D)、図10(A)～(D)に、スケーリング係数CU、CVを徐々に変化した場合に本実施形態により生成されるオブジェクトOBの画像の例を示す。

【0089】図9(A)では、CU=0.5、CV=2.0に設定されている。そして、図9(B)、(C)、(D)、図10(A)、(B)、(C)、

(D)では、CUが0.2ずつ増加し、CVが0.2ずつ減少している。図9(A)では、ブラシ効果のハイライト画像が生成され、図10(D)ではヘアライン効果のハイライト画像が生成される。

【0090】このように本実施形態によれば、スケーリング係数CU、CVの値を所望の値に変化させるだけで、オブジェクトの表面上に想定する傷の方向を任意に制御でき、ブラシ効果やヘアライン効果などの多様なハイライト画像の生成に成功している。

\*

$$P^{uv}(u, v)$$

$$= [Nv_{0,4} \ Nv_{1,4} \ Nv_{2,4} \ Nv_{3,4}] \begin{bmatrix} Q_{00} & Q_{01} & Q_{02} & Q_{03} \\ Q_{10} & Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} \\ Q_{20} & Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} \\ Q_{30} & Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Nu_{0,4} \\ Nu_{1,4} \\ Nu_{2,4} \\ Nu_{3,4} \end{bmatrix} \quad \dots (6)$$

$P^{uv}(u, v)$ のy成分、z成分についても、上式

(6)と同様の式により求めることができる。

【0094】なお、有理化を行った場合には下式(7)※

※のようになる。

【0095】

【数5】

$$P^{uv}(u, v) P^{uv}(u, v)$$

$$= [Nv_{0,4} \ Nv_{1,4} \ Nv_{2,4} \ Nv_{3,4}] \begin{bmatrix} Q_{00}Q_{00} & Q_{01}Q_{01} & Q_{02}Q_{02} & Q_{03}Q_{03} \\ Q_{10}Q_{10} & Q_{11}Q_{11} & Q_{12}Q_{12} & Q_{13}Q_{13} \\ Q_{20}Q_{20} & Q_{21}Q_{21} & Q_{22}Q_{22} & Q_{23}Q_{23} \\ Q_{30}Q_{30} & Q_{31}Q_{31} & Q_{32}Q_{32} & Q_{33}Q_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Nu_{0,4} \\ Nu_{1,4} \\ Nu_{2,4} \\ Nu_{3,4} \end{bmatrix} \quad \dots (7)$$

上式(6)、(7)において、 $Q_{00} \sim Q_{33}$ は制御点である。

【0096】また $Nu_{0,4} \sim Nu_{3,4}$ 、 $Nv_{0,4} \sim Nv_{3,4}$

は混ぜ合わせ関数である。これらの混ぜ合わせ関数は、

下式(8)、(9)の再帰形表現の漸化式(DeBoorCox ★

★の漸化式)と、下式(10)のノットベクトルTU、TVとに基づき求めることができる。

【0097】

【数6】

$$\begin{aligned} Nu_{j,m} &= \frac{u - u_j}{u_{j+m} - u_j} Nu_{j,m-1} + \frac{u_{j+m} - u}{u_{j+m} - u_{j+1}} Nu_{j+1,m-1} \\ Nu_{j,1} &= 1 \quad (u_j \leq u \leq u_{j+1}) \\ Nu_{j,1} &= 0 \quad (\text{上記以外}) \end{aligned} \quad \dots (8)$$

【0098】

☆☆【数7】

$$\begin{aligned} Nv_{j,m} &= \frac{v - v_j}{v_{j+m} - v_j} Nv_{j,m-1} + \frac{v_{j+m} - v}{v_{j+m} - v_{j+1}} Nv_{j+1,m-1} \\ Nv_{j,1} &= 1 \quad (v_j \leq v \leq v_{j+1}) \\ Nv_{j,1} &= 0 \quad (\text{上記以外}) \end{aligned} \quad \dots (9)$$

$$TU = [u_0 \ u_1 \ u_2 \ \dots \ u_{m+n-1}]$$

$$TV = [v_0 \ v_1 \ v_2 \ \dots \ v_{m+n-1}]$$

N: 制御点数

M: 階数(次数+1)

...(10)

ノットベクトルは、パラメータの節目を数値の列として与えるベクトルである。ノットベクトルのノット間隔

(ノットベクトルの隣り合う要素間の数値差)が一定である場合には、ユニフォーム(Uniform)と呼ばれ、ノット間隔が一定でない場合は、ノンユニフォーム(Non

Uniform)と呼ばれる。

【0099】ノンユニフォーム(Non Uniform)で、有理化(Rational)されたBスプラインが、NURBS(Non Uniform Rational B-Spline)である。

【0100】図11に、本実施形態により生成された曲

面パッチ20（自由曲面）の例を示す。

【0101】上式（6）又は（7）から明らかなように、曲面パッチ20の各構成点は、制御点 $Q_{00} \sim Q_{33}$ と混ぜ合わせ関数 $N_{u,4} \sim N_{u,3,4}$ 、 $N_{v,4} \sim N_{v,3,4}$ に基づき求められる。この場合、パラメータ $u$ の変域は $u_3 \leq u < u_4$ となり、パラメータ $v$ の変域は $v_3 \leq v < v_4$ になる。

【0102】一方、曲面パッチ22を生成する場合には、使用する制御点のセットが、 $Q_{00} \sim Q_{33}$ から $Q_{01} \sim Q_{34}$ に変わる。そして、曲面パッチ22の各構成点は、制御点 $Q_{01} \sim Q_{34}$ と混ぜ合わせ関数 $N_{u,4} \sim N_{u,4,4}$ 、 $N_{v,4} \sim N_{v,3,4}$ に基づき求められる。この場合、パラメータ $u$ の変域は $u_4 \leq u < u_5$ となり、パラメータ $v$ の変域は $v_3 \leq v < v_4$ になる。

【0103】本実施形態により生成された曲面パッチ20の各構成点は、ポリゴンの頂点に設定され、これらの\*

\*頂点により構成されるポリゴンが画面上に表示されることになる。

【0104】図12に、自由曲面（NURBS）で表されたオブジェクトOB（ワイヤーフレーム表示）の画像の例を示す。曲面の分割数を制御することで、オブジェクトOBの精密度を変化させることができる。

【0105】さて、オブジェクトを自由曲面で表した場合には、曲面の接線（傾き）ベクトルを簡易に求めることができる。

【0106】例えば、図13において、構成点Pでの $u$ 方向の接線ベクトル $UVEC$ の $x$ 成分は下式（11）の計算を行うことで求めることができる。 $y$ 成分、 $z$ 成分も同様である。

【0107】

【数8】

$$\frac{\partial P^{uv}(u,v)}{\partial u} = [N_{v,4}, N_{v,3,4}, N_{v,2,4}, N_{v,1,4}] \begin{pmatrix} Q_{0,4} & Q_{0,3} & Q_{0,2} & Q_{0,1} \\ Q_{1,4} & Q_{1,3} & Q_{1,2} & Q_{1,1} \\ Q_{2,4} & Q_{2,3} & Q_{2,2} & Q_{2,1} \\ Q_{3,4} & Q_{3,3} & Q_{3,2} & Q_{3,1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial N_{u,4}}{\partial u} \\ \frac{\partial N_{u,3}}{\partial u} \\ \frac{\partial N_{u,2}}{\partial u} \\ \frac{\partial N_{u,1}}{\partial u} \end{pmatrix}$$

…（11）

また、 $v$ 方向の接線ベクトル $VVEC$ の $x$ 成分は下式

（12）の計算を行うことで求めることができる。 $y$ 成分、 $z$ 成分も同様である。

※30

※【0108】

【数9】

$$\frac{\partial P^{uv}(u,v)}{\partial v} = \left[ \frac{\partial N_{v,4}}{\partial v}, \frac{\partial N_{v,3,4}}{\partial v}, \frac{\partial N_{v,2,4}}{\partial v}, \frac{\partial N_{v,1,4}}{\partial v} \right] \begin{pmatrix} Q_{0,4} & Q_{0,3} & Q_{0,2} & Q_{0,1} \\ Q_{1,4} & Q_{1,3} & Q_{1,2} & Q_{1,1} \\ Q_{2,4} & Q_{2,3} & Q_{2,2} & Q_{2,1} \\ Q_{3,4} & Q_{3,3} & Q_{3,2} & Q_{3,1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_{u,4} \\ N_{u,3} \\ N_{u,2} \\ N_{u,1} \end{pmatrix}$$

…（12）

なお、上式（12）、（13）は有理化を行わない場合の式であるが、有理化を行う場合も同様にして求めることができる。

【0109】また、上式（12）、（13）により求められた接線ベクトル $UVEC$ 、 $VVEC$ の外積を計算することで、図13に示すように、構成点Pでの法線ベクトル $N$ を求めることができる。

【0110】そして、接線ベクトル $UVEC$ の方向に図5で説明したUVN座標系の $U$ 軸を設定し、接線ベクトル $VVEC$ の方向にUVN座標系の $V$ 軸を設定し、法線ベクトル $N$ の方向にUVN座標系の $N$ 軸を設定する。

【0111】このようにすれば、オブジェクトの各構成点に対して図5に示すようなUVN座標系を設定できる。そして、この各構成点に設定されたUVN座標系に

において図5のA2に示すように反射ベクトルの方向を変化させれば、異方性反射を表現できるようになる。

【0112】このように、オブジェクトを自由曲面を表した場合には、反射ベクトルを変化させるUVN座標系を、比較的簡易な処理で設定できるという利点がある。

【0113】また、法線ベクトル $N$ を得るために求める接線ベクトル $UVEC$ 、 $VVEC$ を、UVN座標系の設定処理のために有効利用できるようになり、処理の効率化を図れる。

【0114】なお、オブジェクトをポリゴンで表現した場合にも、例えば以下に述べるような手法でUVN座標系を設定できる。

【0115】例えば図14（A）では、オブジェクトOB（OB1、OB2又はOB3）のローカル座標系（X

L、YL、ZL)において、YL軸を中心としオブジェクトOBの各構成点(頂点)を通る円を想定し、この円の接線ベクトルUVECの方向にU軸を設定する。そして、この接線ベクトルUVECと各構成点に付与されている法線ベクトルとの外積を計算することでV軸の方向を求める。このようにすることで、オブジェクトOBの各構成点(頂点)に対してUVN座標系を設定できるようになる。

【0116】そしてこの手法によれば、図14(B)に示すように、一定方向(接線ベクトルUVECの方向又はUVECに垂直な方向)に傷がついた金属板等での異方性反射を表現できるようになる。

【0117】2.3 スペキュラーマッピング  
さて図4(B)や上式(5)で得られた反射ベクトルR2を用い行うシェーディング演算は、いわゆるスペキュラーマッピングにより実現することが望ましい。反射ベクトルR2と視線ベクトルのなす角度により鏡面反射の強度を計算するフォンのモデル等では、スペキュラー形状(ハイライト形状)がポリゴン(広義にはプリミティブ面)形状の影響を受けて不自然な形になるという問題が生じる場合があるからである。

【0118】しかしながら、前述した大平や高木・横井のモデルでは、スカラー量である鏡面反射光の強度が計算結果として出力される。従って、スペキュラー形状がポリゴン形状の影響で不自然な形になるという問題を、いわゆるスペキュラーマッピングの手法により解決できない。

【0119】この場合、ノンリアルタイム処理のCGのようにピクセル単位で鏡面反射光の強度を計算すれば、スペキュラー形状がポリゴン形状に依存してしまうという問題を解決できる。しかしながら、この解決手法は、リアルタイム処理が要求されるゲームシステムにおいては非現実的である。

【0120】これに対して本実施形態では、スカラー量ではなく、反射ベクトルR2が上式(5)のように求められる。従って、この反射ベクトルR2に基づいてテクスチャ座標を求め、このテクスチャ座標に基づいてスペキュラー表現テクスチャをオブジェクトにマッピングするようにすれば、スペキュラーマッピングを実現できるようになる。

【0121】より具体的には例えば図15(A)に示すようなスペキュラー表現テクスチャを用意する。なお、このスペキュラー表現テクスチャはリアルタイムに生成してもよい。

【0122】図15(A)に示すスペキュラー表現テクスチャでは、その中心に例えば白いハイライト(光源)画像が描かれており、中心から周囲に向かうにつれてその輝度が徐々に減衰し、黒に変化して行く。なお、後述する最終的な極座標変換の後のハイライト画像が所望の適切な形状になるように、スペキュラー表現テクスチャ

に描かれるハイライト画像の形状を変形しておくことが望ましい。

【0123】この図15(A)に示すスペキュラー表現テクスチャにより、図15(B)に示すような仮想球30を想定する。

【0124】そして図16に示すように、オブジェクトOBを内包するように仮想球30を設定する。次に、光源ベクトルLに基づき構成点Pでの反射ベクトルを求め、この反射ベクトルから、本実施形態の手法で、異方性反射を考慮した反射ベクトルR2を求める。そして、この反射ベクトルR2と仮想球30との交点PRを求めることで、スペキュラー表現テクスチャのテクスチャ座標TX、TY(コーディネート値)を求め、これらのTX、TYを構成点Pに設定する。

【0125】そして、このようにして各構成点に設定されたテクスチャ座標TX、TYに基づいて、図15

(A)に示すスペキュラー表現テクスチャをオブジェクトOBにマッピングして、スペキュラーマッピングを実現する。

【0126】以上のようにすれば、スペキュラー形状(ハイライト形状)がポリゴン形状の影響を受けないようになるため、より自然でリアルな画像を生成できるようになる。

【0127】3. 本実施形態の処理

次に、本実施形態の処理の詳細例について、図17、図18のフローチャートを用いて説明する。

【0128】まずPN(構成点の番号)を0に設定する(ステップS1)。

【0129】次に、構成点(頂点)PNでの接線ベクトルUVEC、VVECを上式(11)、(12)などに基づいて求める(ステップS2)。

【0130】次に、図13で説明したように、接線ベクトルUVEC、VVECの外積計算を行い、法線ベクトルNを求める(ステップS3)。

【0131】次に、光源情報、構成点PNの位置、構成点PNでの法線ベクトルNに基づき反射ベクトルRを求める(ステップS4)。例えば点光源の場合には、光源位置と構成点PNの位置とを結ぶベクトルを図4(A)の光源ベクトルLとして求め、この光源ベクトルLと法線ベクトルNとに基づき反射ベクトルRを求める。一方、平行光源の場合には、平行光源からの光源ベクトルLと法線ベクトルNとに基づき反射ベクトルRを求める。

【0132】次に、図5のA1で説明したように、ワールド座標系からUVN座標系(UVEC、VVEC、Nで構成される座標系)に反射ベクトルRを座標変換し、RUVNを求める(ステップS5)。

【0133】次に、図5のA2で説明したように、UVN座標系においてRUVNに対して、異方性反射の方向を表す係数CU、CVに基づくスケーリング計算を行

い、反射ベクトル $R2UVN$ を求める(ステップS6)。

【0134】次に、図5のA3で説明しように、 $R2UVN$ をワールド座標系に座標変換し、反射ベクトル $R2$ を求める(ステップS7)。

【0135】次に、 $R2$ と視線ベクトルとのなす角度 $\theta$ に基づき、例えば $P_s \times \cos \theta$ の計算を行い、構成点 $PN$ での鏡面反射光の強度を求める(ステップS8)。

【0136】次に、 $PN$ が $PEND$ よりも大きいかがかを判断し、 $PEND$ よりも小さい場合には、 $PN$ を1だけインクリメントし(ステップS10)、ステップS2に戻る。一方、 $PEND$ よりも大きい場合には処理を終了する。

【0137】図18は、スペキュラーマッピングを行う場合のフローチャートである。スペキュラーマッピングを行う場合には、図17のステップS8において図18の処理を行うことになる。

【0138】まず、オブジェクトの中心を仮想球の中心に設定した場合に、オブジェクトの中心と仮想球上のハイライト画像の中心(マップの中心)とを結ぶ方向を、視線ベクトルの方向に一致させるマトリクス $M$ を求める(ステップS11)。

【0139】即ち図19(A)に示すように、その中心がオブジェクトOBの中心と一致するような仮想球30を想定する。そして、例えばオブジェクトに設定されたXYZ座標系(各構成点に設定してもよい)において視点VPの方へと向かう視線ベクトルを $E$ とした場合に、図19(B)、(C)に示すように、視線ベクトル $E'$ の方向が $X'$ 軸の負側方向に向くような $X'Y'Z'$ 座標系を想定する。すると、上記のマトリクス $M$ は、下式(13)のように、視線ベクトル $E'$ を $E$ に変換するマトリクスとなる。

$$【0140】E = M \times E' \quad (13)$$

上式(13)より、

$$E' = M^{-1} \times E \quad (14)$$

となる。上式(14)において、 $M^{-1}$ は $M$ の逆変換マトリクスである。

【0141】そして、この逆変換マトリクス $M^{-1}$ に基づいて下式(15)のように反射ベクトル $R2$ を変換して、反射ベクトル $R2'$ を求める(ステップS12)。

$$【0142】R2' = M^{-1} \times R2 \quad (15)$$

次に、図19(D)に示すように、反射ベクトル $R2'$ を極座標変換して、テクスチャ座標 $TX$ 、 $TY$ を求める(ステップS13)。

【0143】即ち、図19(D)に示すように、反射ベクトル $R2'$ を $X'Z'$ 平面に投影したベクトルを $R2''$ とし、 $R2''$ と $X'$ 軸とのなす角度を $\theta1$ (度)とする。また反射ベクトル $R2'$ と $Y'$ 軸のなす角度を $\theta2$ (度)とする。この場合に、下式(16)のようにしてテクスチャ座標 $TX$ 、 $TY$ を求めることができる。

$$【0144】$$

$$TX = \theta1 / 360$$

$$TY = \theta2 / 180 \quad (16)$$

例えば上式(16)において、 $\theta1 = 180$ (度)、 $\theta2 = 90$ (度)とした場合には、図19(D)から明らかのように、反射ベクトル $R2'$ の方向と視線ベクトル $E'$ の方向とが一致する。そして、この時のテクスチャ座標は、 $TX = 0.5$ 、 $TY = 0.5$ となり、スペキュラー表現テクスチャのハイライト画像の中心(マップの中心)が参照されることになる。即ち、上式(15)の変換は、反射ベクトルの方向が視線ベクトルの方向に一致した場合に、スペキュラー表現テクスチャのハイライト画像の中心が参照されるような変換であるといえることができる。

【0145】最後に、求められたテクスチャ座標 $TX$ 、 $TY$ を構成点 $PN$ (頂点)に付与する(ステップS14)。このテクスチャ座標 $TX$ 、 $TY$ を用いて、図15(A)に示すようなスペキュラー表現テクスチャをオブジェクトOBにマッピングすることで、いわゆるスペキュラーマッピングを実現できる。

【0146】4. ハードウェア構成次に、本実施形態を実現できるハードウェアの構成の一例について図20を用いて説明する。

【0147】メインプロセッサ900は、CD982(情報記憶媒体)に格納されたプログラム、通信インターフェース990を介して転送されたプログラム、或いはROM950(情報記憶媒体の1つ)に格納されたプログラムなどに基づき動作し、ゲーム処理、画像処理、音処理などの種々の処理を実行する。

【0148】コプロセッサ902は、メインプロセッサ900の処理を補助するものであり、高速並列演算が可能な積和算器や除算器を有し、マトリクス演算(ベクトル演算)を高速に実行する。例えば、オブジェクトを移動させたり動作(モーション)させるための物理シミュレーションに、マトリクス演算などの処理が必要な場合には、メインプロセッサ900上で動作するプログラムが、その処理をコプロセッサ902に指示(依頼)する。

【0149】ジオメトリプロセッサ904は、座標変換、透視変換、光源計算、曲面生成などのジオメトリ処理を行うものであり、高速並列演算が可能な積和算器や除算器を有し、マトリクス演算(ベクトル演算)を高速に実行する。例えば、座標変換、透視変換、光源計算などの処理を行う場合には、メインプロセッサ900で動作するプログラムが、その処理をジオメトリプロセッサ904に指示する。

【0150】データ伸張プロセッサ906は、圧縮された画像データや音データを伸張するデコード処理を行ったり、メインプロセッサ900のデコード処理をアクセレートする処理を行う。これにより、オープニング画

面、インターミッション画面、エンディング画面、或いはゲーム画面などにおいて、MPEG方式等で圧縮された動画像を表示できるようになる。なお、デコード処理の対象となる画像データや音データは、ROM950、CD982に格納されたり、或いは通信インターフェース990を介して外部から転送される。

【0151】描画プロセッサ910は、ポリゴンや曲面などのプリミティブ面で構成されるオブジェクトの描画（レンダリング）処理を高速に実行するものである。オブジェクトの描画の際には、メインプロセッサ900は、DMAコントローラ970の機能を利用して、オブジェクトデータを描画プロセッサ910に渡すと共に、必要であればテクスチャ記憶部924にテクスチャを転送する。すると、描画プロセッサ910は、これらのオブジェクトデータやテクスチャに基づいて、Zバッファなどを利用した陰面消去を行いながら、オブジェクトをフレームバッファ922に高速に描画する。また、描画プロセッサ910は、 $\alpha$ ブレンディング（半透明処理）、デプスキューイング、ミップマッピング、フォグ処理、バイリニア・フィルタリング、トライリニア・フィルタリング、アンチエイリアシング、シェーディング処理なども行うことができる。そして、1フレーム分の画像がフレームバッファ922に書き込まれると、その画像はディスプレイ912に表示される。

【0152】サウンドプロセッサ930は、多チャンネルのADPCM音源などを内蔵し、BGM、効果音、音声などの高品質のゲーム音を生成する。生成されたゲーム音は、スピーカ932から出力される。

【0153】ゲームコントローラ942からの操作データや、メモリカード944からのセーブデータ、個人データは、シリアルインターフェース940を介してデータ転送される。

【0154】ROM950にはシステムプログラムなどが格納される。なお、業務用ゲームシステムの場合には、ROM950が情報記憶媒体として機能し、ROM950に各種プログラムが格納されることになる。なお、ROM950の代わりにハードディスクを利用するようにしてもよい。

【0155】RAM960は、各種プロセッサの作業領域として用いられる。

【0156】DMAコントローラ970は、プロセッサ、メモリ（RAM、VRAM、ROM等）間でのDMA転送を制御するものである。

【0157】CDドライブ980は、プログラム、画像データ、或いは音データなどが格納されるCD982（情報記憶媒体）を駆動し、これらのプログラム、データへのアクセスを可能にする。

【0158】通信インターフェース990は、ネットワークを介して外部との間でデータ転送を行うためのインターフェースである。この場合に、通信インターフェー

ス990に接続されるネットワークとしては、通信回線（アナログ電話回線、ISDN）、高速シリアルバスなどを考えることができる。そして、通信回線を利用することでインターネットを介したデータ転送が可能になる。また、高速シリアルバスを利用することで、他のゲームシステムとの間でのデータ転送が可能になる。

【0159】なお、本発明の各手段は、その全てを、ハードウェアのみにより実行してもよいし、情報記憶媒体に格納されるプログラムや通信インターフェースを介して配信されるプログラムのみにより実行してもよい。或いは、ハードウェアとプログラムの両方により実行してもよい。

【0160】そして、本発明の各手段をハードウェアとプログラムの両方により実行する場合には、情報記憶媒体には、本発明の各手段をハードウェアを利用して実行するためのプログラムが格納されることになる。より具体的には、上記プログラムが、ハードウェアである各プロセッサ902、904、906、910、930等に処理を指示すると共に、必要であればデータを渡す。そして、各プロセッサ902、904、906、910、930等は、その指示と渡されたデータとに基づいて、本発明の各手段を実行することになる。

【0161】図21（A）に、本実施形態を業務用ゲームシステムに適用した場合の例を示す。プレーヤは、ディスプレイ1100上に映し出されたゲーム画像を見ながら、レバー1102、ボタン1104等を操作してゲームを楽しむ。内蔵されるシステムボード（サーキットボード）1106には、各種プロセッサ、各種メモリなどが実装される。そして、本発明の各手段を実行するための情報（プログラム又はデータ）は、システムボード1106上の情報記憶媒体であるメモリ1108に格納される。以下、この情報を格納情報と呼ぶ。

【0162】図21（B）に、本実施形態を家庭用のゲームシステムに適用した場合の例を示す。プレーヤはディスプレイ1200に映し出されたゲーム画像を見ながら、ゲームコントローラ1202、1204を操作してゲームを楽しむ。この場合、上記格納情報は、本体システムに着脱自在な情報記憶媒体であるCD1206、或いはメモリカード1208、1209等に格納されている。

【0163】図21（C）に、ホスト装置1300と、このホスト装置1300とネットワーク1302（LANのような小規模ネットワークや、インターネットのような広域ネットワーク）を介して接続される端末1304-1～1304-n（ゲーム機、携帯電話）とを含むシステムに本実施形態を適用した場合の例を示す。この場合、上記格納情報は、例えばホスト装置1300が制御可能な磁気ディスク装置、磁気テープ装置、メモリ等の情報記憶媒体1306に格納されている。端末1304-1～1304-nが、スタンドアロンでゲーム画像、ゲー

ム音を生成できるものである場合には、ホスト装置1300からは、ゲーム画像・ゲーム音を生成するためのゲームプログラム等が端末1304-1~1304-nに配送される。一方、スタンドアロンで生成できない場合には、ホスト装置1300がゲーム画像、ゲーム音を生成し、これを端末1304-1~1304-nに伝送し端末において出力することになる。

【0164】なお、図21(C)の構成の場合に、本発明の各手段を、ホスト装置(サーバー)と端末とで分散して実行するようにしてもよい。また、本発明の各手段

を実行するための上記格納情報を、ホスト装置(サーバー)の情報記憶媒体と端末の情報記憶媒体に分散して格納するようにしてもよい。

【0165】またネットワークに接続する端末は、家庭用ゲームシステムであってもよいし業務用ゲームシステムであってもよい。そして、業務用ゲームシステムをネットワークに接続する場合には、業務用ゲームシステムとの間で情報のやり取りが可能であると共に家庭用ゲームシステムとの間でも情報のやり取りが可能なセーブ用情報記憶装置(メモリカード、携帯型ゲーム装置)を用

いることが望ましい。

【0166】なお本発明は、上記実施形態で説明したものに限らず、種々の変形実施が可能である。

【0167】例えば、本発明のうち従属請求項に係る発明においては、従属先の請求項の構成要件の一部を省略する構成とすることもできる。また、本発明の1の独立請求項に係る発明の要部を、他の独立請求項に従属させることもできる。

【0168】また反射ベクトルの方向を変化させる手法としては、処理の簡素化の観点からは図5で説明した手法が特に望ましいが、本発明はこれに限定されず種々の変形実施が可能である。

【0169】また第2の座標系の設定手法も、図13や図14(A)、(B)で説明した手法に限定されるものではない。

【0170】また、シェーディング演算により得られた鏡面反射光の強度(輝度)を $\alpha$ 値(各ピクセルに関連づけられて記憶される情報であり色情報以外のプラスアルファの情報)に設定し、この $\alpha$ 値に基づいて $\alpha$ 合成( $\alpha$ ブレンディング、 $\alpha$ 加算)を行い、例えばガラス表面上の傷で反射光が異方性反射する様子を表現してもよい。

【0171】また、本発明は種々のゲーム(格闘ゲーム、シューティングゲーム、ロボット対戦ゲーム、スポーツゲーム、競争ゲーム、ロールプレイングゲーム、音楽演奏ゲーム、ダンスゲーム等)に適用できる。

【0172】また本発明は、業務用ゲームシステム、家庭用ゲームシステム、多数のプレーヤが参加する大型アトラクションシステム、シミュレータ、マルチメディア端末、ゲーム画像を生成するシステムボード等の種々のゲームシステム(画像生成システム)に適用できる。

# 【図面の簡単な説明】

【図1】図1(A)、(B)は、異方性反射について説明するための図である。

【図2】図2(A)、(B)は、楕円体モデルを用いて異方性反射を実現する手法について説明するための図である。

【図3】本実施形態のゲームシステムの機能ブロック図の例である。

【図4】図4(A)、(B)は、反射ベクトルの方向を変化させて異方性反射を実現する手法について説明するための図である。

【図5】UVN座標系で反射ベクトルの方向を変化させて異方性反射を実現する手法について説明するための図である。

【図6】図6(A)、(B)は、スケーリング係数を用いて反射ベクトルの方向を変化させる手法について説明するための図である。

【図7】図7(A)はノーマルシェーディングの場合、図7(B)は楕円体モデルを用いた場合、図7(C)は本実施形態の手法を用いた場合の生成画像例である。

【図8】図8(A)は楕円体モデルを用いた場合、図8(B)は本実施形態の手法を用いた場合の生成画像例である。

【図9】図9(A)、(B)、(C)、(D)は、スケーリング係数を徐々に変化させた場合の生成画像例である。

【図10】図10(A)、(B)、(C)、(D)も、スケーリング係数を徐々に変化させた場合の生成画像例である。

【図11】オブジェクトを自由曲面で表現する手法について説明するための図である。

【図12】オブジェクトを自由曲面で表現する手法について説明するための図である。

【図13】各構成点での接線ベクトルを求めて、UVN座標系を設定する手法について説明するための図である。

【図14】図14(A)、(B)は、オブジェクトがポリゴンで表現される場合におけるUVN座標系の設定手法について説明するための図である。

【図15】図15(A)、(B)は、スペキュラー表現テクスチャと仮想球について説明するための図である。

【図16】スペキュラーマッピングについて説明するための図である。

【図17】本実施形態の処理の詳細例について示すフローチャートである。

【図18】本実施形態の処理の詳細例について示すフローチャートである。

【図19】図19(A)、(B)、(C)、(D)は、スペキュラー表現テクスチャのテクスチャ座標の求め方について説明するための図である。

27

【図20】本実施形態を実現できるハードウェアの構成の一例を示す図である。

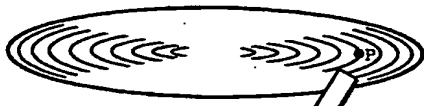
【図21】図21(A)、(B)、(C)は、本実施形態が適用される種々の形態のシステムの例を示す図である。

【符号の説明】

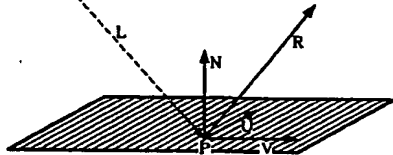
OB オブジェクト  
 LS 光源  
 VP 視点  
 L 光源ベクトル  
 N 法線ベクトル  
 R、R2、RUVN、R2UVN 反射ベクトル  
 20、22 曲面パッチ  
 30 仮想球  
 100 処理部

【図1】

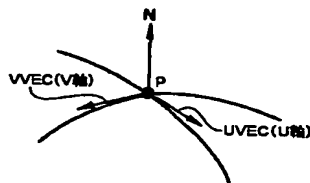
(A)



(B)



【図13】

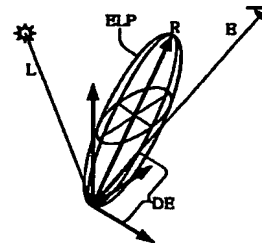


28

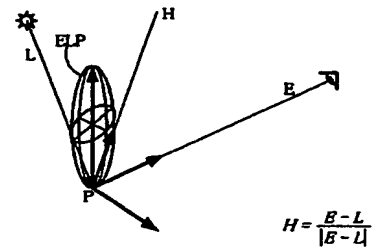
110 反射ベクトル演算部  
 112 反射ベクトル変化部  
 114 シェーディング演算部  
 130 描画部  
 132 テクスチャマッピング部  
 160 操作部  
 170 記憶部  
 172 主記憶部  
 174 描画領域  
 10 176 テクスチャ記憶部  
 180 情報記憶媒体  
 190 表示部  
 192 音出力部  
 194 携帯型情報記憶装置  
 196 通信部

【図2】

(A)

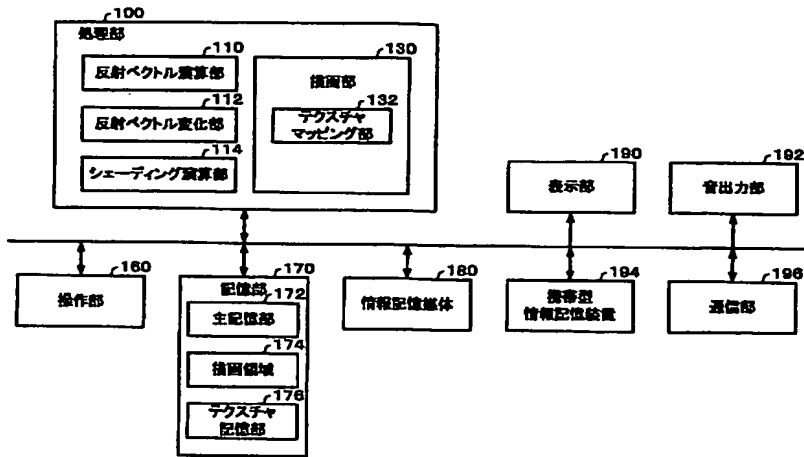


(B)

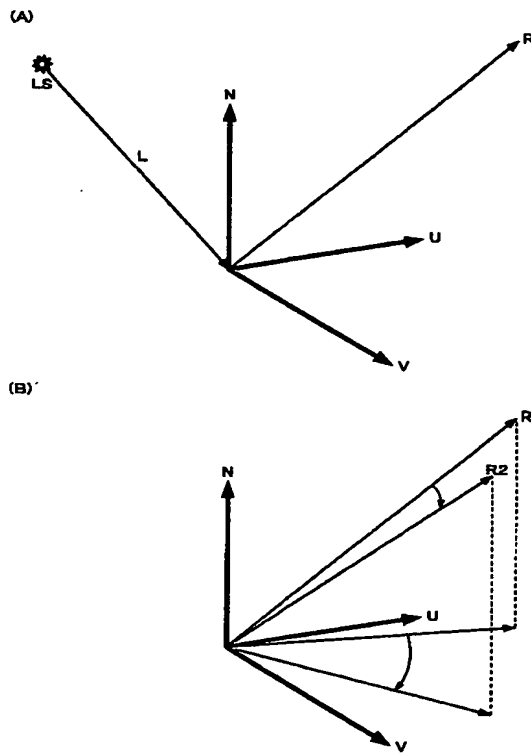


$$H = \frac{B + L}{|B + L|}$$

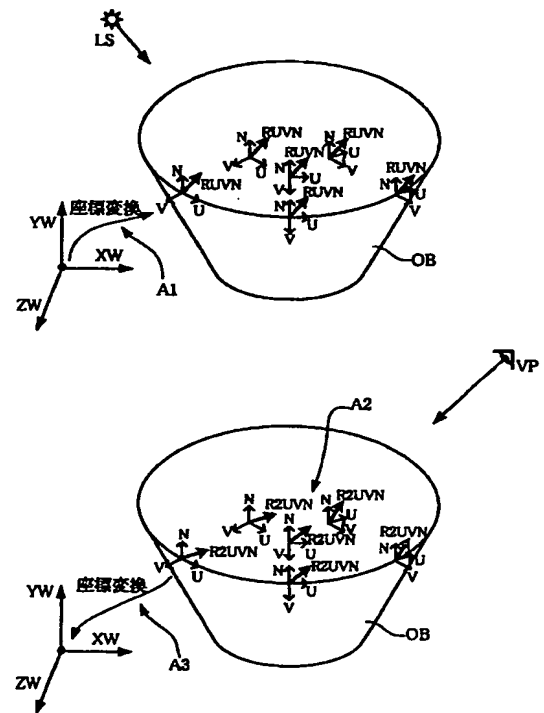
【図3】



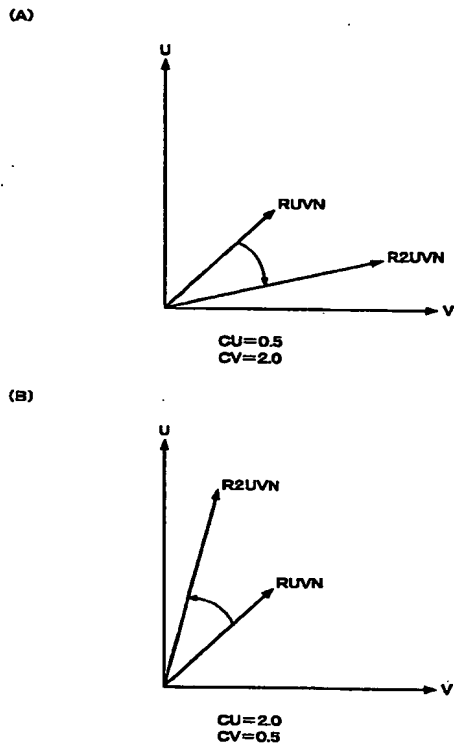
【図4】



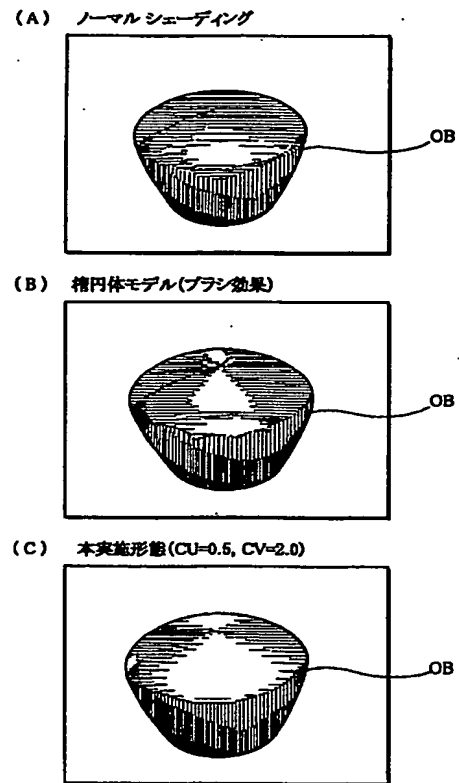
【図5】



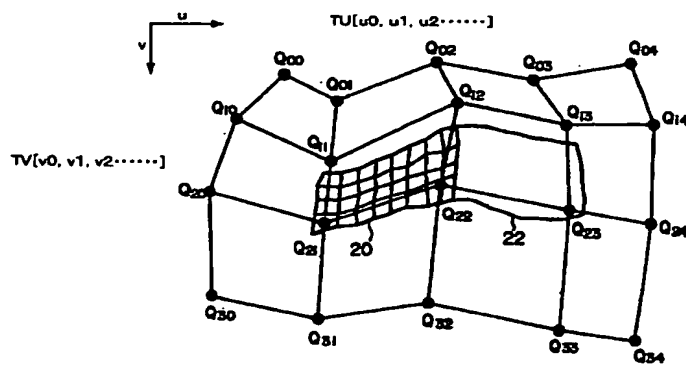
【図6】



【図7】

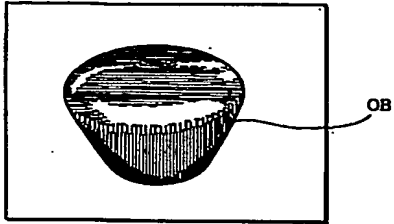


【図11】

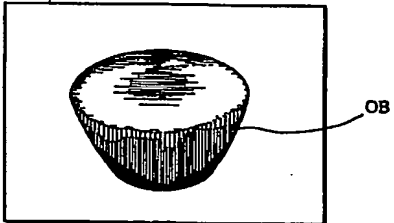


【図8】

(A) 槽円体モデル(ヘアライン効果)

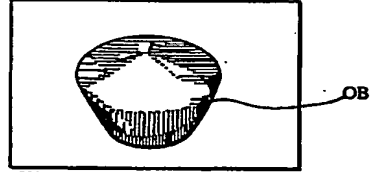


(B) 本実施形態(CU=2.0, CV=0.5)

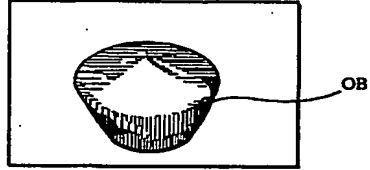


【図9】

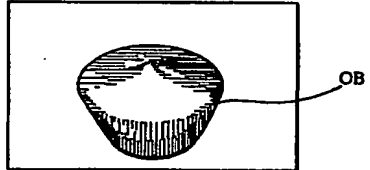
(A) CU=0.5, CV=2.0



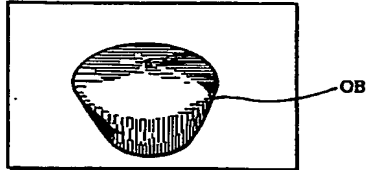
(B) CU=0.7, CV=1.8



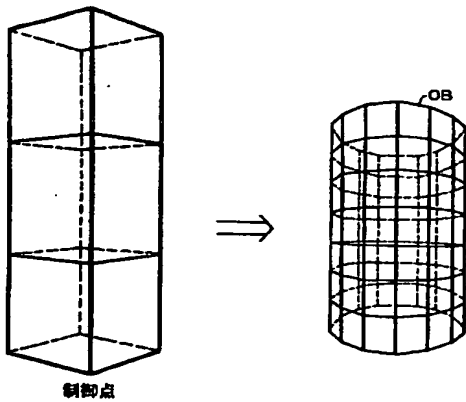
(C) CU=0.9, CV=1.6



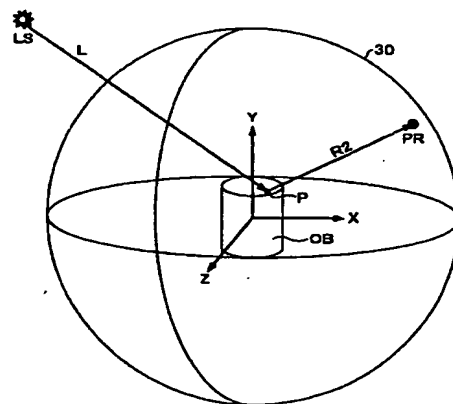
(D) CU=1.1, CV=1.4



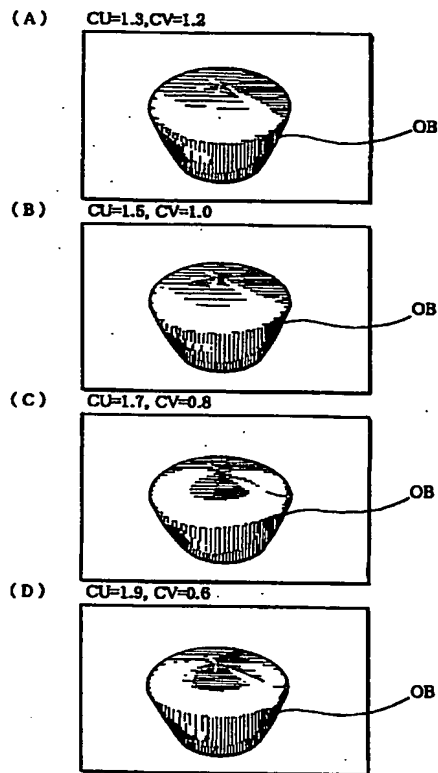
【図12】



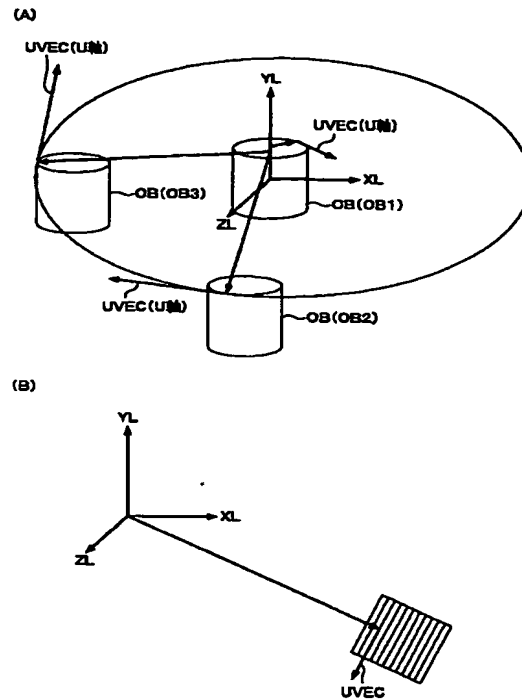
【図16】



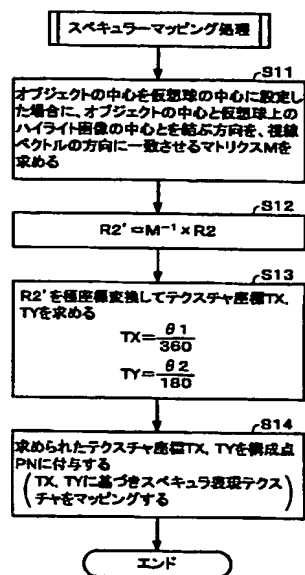
【図10】



【図14】

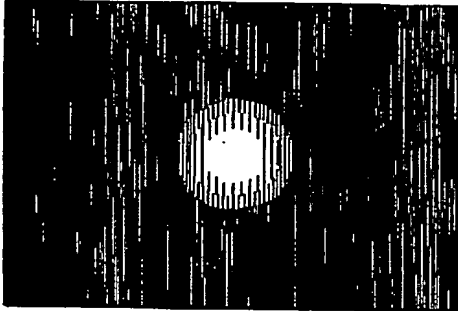


【図18】

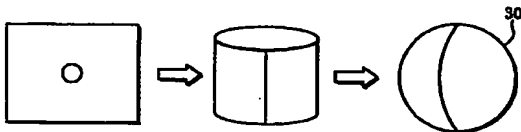


【図15】

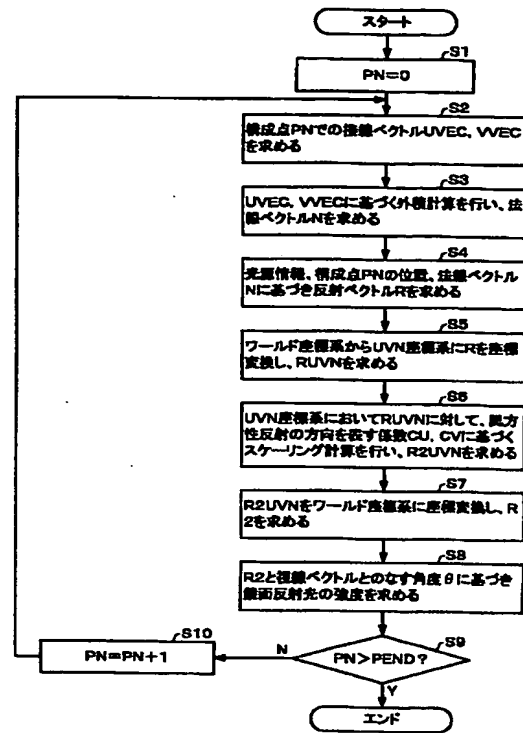
(A)



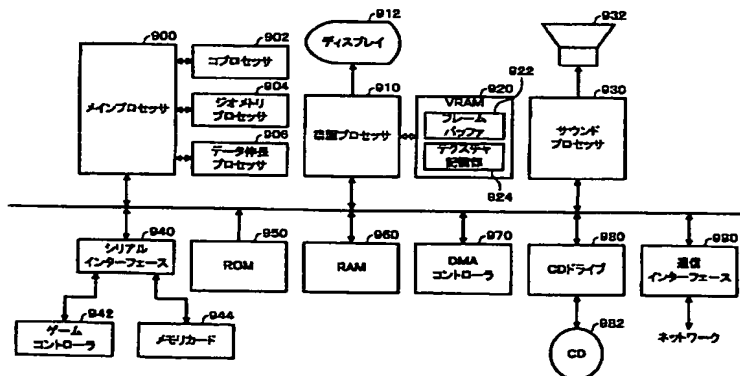
(B)



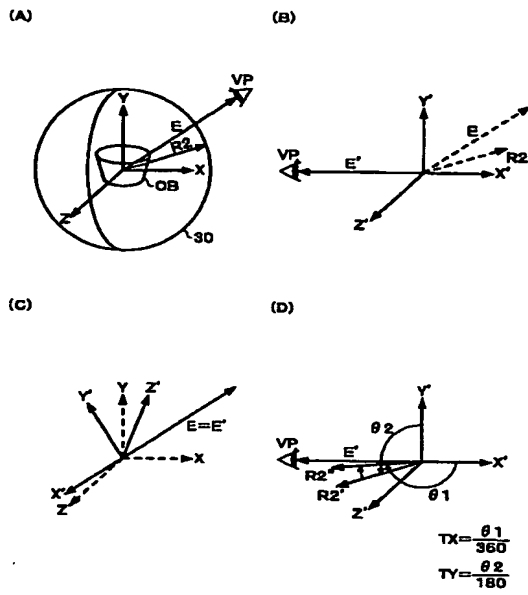
【図17】



【図20】



【図19】



【図21】

